



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 41 704 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
H 01 L 21/762
// H 01 L 27/108

②① Aktenzeichen: 197 41 704.3
②② Anmeldetag: 22. 9. 97
④③ Offenlegungstag: 1. 4. 99

DE 197 41 704 A 1

⑦① Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

⑤⑥ Entgegenhaltungen:
US 54 94 854

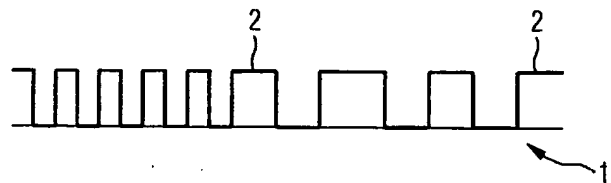
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Erzeugung von Isolationen in einem Substrat

⑤⑦ Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Erzeugung von Isolationen in einem Substrat bereitgestellt, das die folgenden Schritte umfaßt:

- a) auf das Substrat wird eine erste Maske aufgebracht;
- b) unter Verwendung der ersten Maske werden in dem Substrat Gräben erzeugt und nachfolgend wird die erste Maske entfernt;
- c) die Gräben werden durch ein plasma-unterstütztes Abscheideverfahren aufgefüllt, wobei das Substrat gegenüber dem Plasma auf einem tieferen Potential gehalten wird,
- d) eine zweite Maske wird aufgebracht, welche im wesentlichen dadurch erhältlich ist, daß in der zweiten Maske an den Stellen Öffnungen vorgesehen sind, an denen die Breite der Öffnungen in der zu der ersten Maske inversen Maske einen vorgegebenen Wert übersteigen,
- e) unter Verwendung der zweiten Maske wird eine Rückätzung durchgeführt und nachfolgend die zweite Maske entfernt, und
- f) die daraus resultierende Oberfläche wird zur Planarisierung poliert.



DE 197 41 704 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Isolationen in einem Substrat. Die Erfindung betrifft insbesondere ein Herstellungsverfahren von Shallow- bzw. Deep-Trench-Isolationen auf einem Halbleitersubstrat.

Für die Isolation von aktiven Gebieten auf Halbleiterbausteinen wird in zunehmendem Maße die sogenannte "LOCOS-Isolation" durch eine Isolation auf der Basis von flachen Isolationsgräben, die sogenannte "Shallow-Trench-Isolation" (STI) bzw. durch eine Isolation mit tiefen Isolationsgräben ("Deep Trenches") ersetzt oder ergänzt. Insbesondere bei den neueren Speichergenerationen (16 MBit-DRAM und höher) und bei neueren Generationen von Logikbausteinen wird die Shallow-Trench-Isolation wegen ihres im Vergleich zur LOCOS-Isolation höheren Schrumpfpotentials vermehrt eingesetzt.

Jedoch ergeben sich insbesondere beim Auffüllen der Gräben und beim nachfolgenden Planarisieren eine Reihe von Schwierigkeiten.

In der Regel werden zum Auffüllen der Gräben sogenannte "TEOS-Verfahren" eingesetzt. Diese Verfahren besitzen jedoch den Nachteil, daß sehr schmale Gräben, wie sie beispielsweise in einem 256 Mbit DRAM verwendet werden, nicht lunkerfrei aufgefüllt werden können. Darüber hinaus weist das durch ein TEOS-Verfahren entstandene Siliziumdioxid eine relativ hohe Naßätzrate auf. Daher wird nach dem Auffüllen der Gräben in der Regel eine Verdichtung des Siliziumdioxids durchgeführt, um die Naßätzrate des Siliziumdioxids zu reduzieren. Diese Verdichtung des Siliziumdioxids führt jedoch zu großen mechanischen Spannungen in dem Siliziumsubstrat, was zu Ausfällen des gesamten Chips führen kann.

Durch das Auffüllen der Gräben werden außerdem an der Oberfläche des Halbleiterwafers große Topologieunterschiede erzeugt, die sich störend auf nachfolgende Prozessschritte auswirken können. Dies hat zur Folge, daß diese Topologieunterschiede durch eine Planarisierung wieder entfernt werden müssen. Jedoch sind die Topologieunterschiede so groß, daß ein einfacher CMP-Prozeß (chemisch-mechanisches Polieren) in der Regel nicht ausreicht, die Topologieunterschiede ohne eine Schädigung des Siliziumsubstrats zu entfernen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein neues Verfahren zur Erzeugung von Isolationen in einem Substrat bereitzustellen, das mit geringem Zeit- und Kostenaufwand wirtschaftlich arbeitet und das ein strukturiertes Substrat ermöglicht, das eine gute Planarität besitzt.

Diese Aufgabe wird von dem Verfahren gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen, Ausgestaltungen und Aspekte der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Erzeugung von Isolationen in einem Substrat bereitgestellt, das die folgenden Schritte umfaßt:

- a) auf das Substrat wird eine erste Maske aufgebracht;
- b) unter Verwendung der ersten Maske werden in dem Substrat Gräben erzeugt und nachfolgend wird die erste Maske entfernt;
- c) die Gräben werden durch ein plasma-unterstütztes Abscheideverfahren aufgefüllt, wobei das Substrat gegenüber dem Plasma auf einem tieferen Potential gehalten wird,
- d) eine zweite Maske wird aufgebracht, welche im wesentlichen dadurch erhältlich ist, daß in der zweiten Maske an den Stellen Öffnungen vorgesehen sind, an

denen die Breite der Öffnungen in der zu der ersten Maske inversen Maske einen vorgegebenen Wert übersteigen,

e) unter Verwendung der zweiten Maske wird eine Rückätzung durchgeführt und nachfolgend die zweite Maske entfernt, und

f) die daraus resultierende Oberfläche wird zur Planarisierung poliert.

Das erfindungsgemäße Verfahren besitzt den Vorteil, daß plasma-unterstützte Abscheideverfahren, bei denen das Substrat gegenüber dem Plasma auf einem tieferen Potential gehalten wird, ein sehr gutes Füllverhalten aufweisen, so daß sogar sehr schmale Gräben (0,15 µm) nahezu lunkerfrei aufgefüllt werden können. Außerdem muß ein durch ein plasma-unterstütztes Abscheideverfahren erzeugtes Füllmaterial nicht nachträglich verdichtet werden. Die mit einer Verdichtung des Füllmaterials verbundenen mechanischen Spannungen in dem Substrat können somit vermieden werden.

Plasma-unterstützte Abscheideverfahren, bei denen das Substrat gegenüber dem Plasma auf einem tieferen Potential gehalten wird, besitzen neben einem Depositionsanteil (der Anteil, der für die eigentliche Materialabscheidung verantwortlich ist) auch einen Abtrags- bzw. Sputteranteil. Durch den Sputteranteil des Abscheideverfahrens stellt sich an den freien Flanken des abgeschiedenen Materials ein materialabhängiger Winkel ein. Dieser Effekt führt in Abhängigkeit von der lateralen Ausdehnung des Bereichs, auf den das Füllmaterial abgeschieden wird, zu unterschiedlichen Abscheidedicken. Auf Bereichen mit einer großen lateralen Ausdehnung wird eine dickere Materialschicht abgeschieden als auf Bereichen mit einer kleinen lateralen Ausdehnung. Die Dicke des außerhalb der Gräben abgeschiedenen Materials ist somit von dem Grabenabstand abhängig. Bei Speicherbausteinen ist beispielsweise der Abstand zwischen den Gräben im Speicherzellenfeld deutlich geringer als der Abstand zwischen den Gräben am Rand des Speicherbausteins. Daher ist Dicke der Materialschicht, die außerhalb der Gräben abgeschieden wird, am Rand des Speicherbausteins deutlich größer als im Speicherzellenfeld.

Die Topologieunterschiede sind dabei so groß, daß ein einfacher CMP-Prozeß (chemisch-mechanisches Polieren) nicht ausreicht, die Topologieunterschiede ohne eine Schädigung des Siliziumsubstrats im Speicherzellenfeld zu entfernen.

Daher ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren eine zweite Maske vorgesehen. Diese zweite Maske ist im wesentlichen dadurch erhältlich, daß in der zweiten Maske an den Stellen Öffnungen vorgesehen sind, an denen die Breite der Öffnungen in der zu der ersten Maske inversen Maske einen vorgegebenen Wert übersteigen. Die zu der ersten Maske inverse Maske ist eine Maske, die genau an den Stellen, an denen die erste Maske keine Öffnungen besitzt, geöffnet ist und an den Stellen, an denen die erste Maske geöffnet ist, keine Öffnungen besitzt. Dies bedeutet, daß die zu der ersten Maske inverse Maske genau über den Zwischenräumen zwischen den Gräben geöffnet ist.

Die zweite Maske unterscheidet sich nun von der zu der ersten Maske inversen Maske dadurch, daß die zweite Maske nicht über allen Zwischenräumen zwischen den Gräben geöffnet ist sondern nur über den Zwischenräumen, die eine vorgegebene Breite übersteigen. Die zweite Maske besitzt daher ihre Öffnungen im wesentlichen an den Stellen, an denen das plasma-unterstützte Abscheideverfahren eine besonders dicke Füllmaterialschicht außerhalb der Gräben erzeugt hat.

Durch die nachfolgende Rückätzung kann die Dicke der

Füllmaterialschicht an diesen Stellen so reduziert werden, daß durch einen nachfolgenden Polierschritt die gesamte Substratoberfläche einheitlich planarisiert werden kann.

Gegenüber dem bisher üblichen Verfahren zur Erzeugung von Isolationen durch einen TEOS-Prozeß lassen sich durch das erfindungsgemäße Verfahren bis zu 2 Naßätzungen, 3 Ofenprozesse, ein Polierschritt und ein Rückätzschritt einsparen. Man erhält somit ein kostengünstigeres Verfahren, das darüber hinaus besser zur Erzeugung sehr kleiner Strukturen geeignet ist.

Bevorzugt sind die Öffnungen in der zweiten Maske gegenüber den Öffnungen in der zu der ersten Maske inversen Maske um einen vorgegebenen Vorhalt pro Kante verkleinert. Dadurch ist gewährleistet, daß die zweite Maske auch bei Justierungsschwankungen nur über Grabenzwischenräumen geöffnet ist.

Weiterhin ist es bevorzugt, wenn in der zweiten Maske zusätzlich Öffnungen vorgesehen sind, die Justiermarken auf dem Substrat entsprechen. Somit kann auf eine eigene Maske zur Erzeugung bzw. Freilegung der Justiermarken verzichtet werden.

Weiterhin ist es bevorzugt, wenn als Füllmaterial Siliziumdioxid verwendet wird.

Bevorzugt werden die Gräben durch ein plasma-unterstütztes Abscheideverfahren mit einem Plasma von hoher Dichte (HDP) aufgefüllt, wobei bevorzugt als Prozeßgase für das plasma-unterstützte Abscheideverfahren Silan (SiH_4), Sauerstoff (O_2) und Argon verwendet werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird zur Rückätzung des abgeschiedenen Materials eine reaktive Ionenätzung (RIE) durchgeführt.

Darüber hinaus ist es bevorzugt, wenn die erste und die zweite Maske Lackmasken sind, die durch Lackveraschung wieder entfernt werden.

Schließlich ist es bevorzugt, wenn die aus Schritt e) resultierende Oberfläche durch chemisch-mechanisches Polieren planarisiert wird.

Die Erfindung wird nun anhand der Figuren näher erläutert. Gleiche Teile sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen. Dabei zeigen die Fig. 1 bis 4 eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie Fig. 5 eine schematische Darstellung zur Justierung der zweiten Maske.

In Fig. 1 ist ein Siliziumsubstrat gezeigt und mit 1 bezeichnet. Auf dieses Siliziumsubstrat 1 wird eine erste Lackmaske 2 aufgebracht, die zur Definition der Gräben 6 bzw. 7 (Shallow-Trench) dient. Die sich daraus ergebende Struktur ist in Fig. 1 gezeigt.

Anschließend werden unter Verwendung der ersten Lackmaske 2 die Gräben 6 in das Siliziumsubstrat 1 geätzt, die später zur Isolierung der aktiven Bauelemente dienen. Gleichzeitig werden auch die Gräben 7 geätzt, die später als Justiermarken für nachfolgende Maskenschritte dienen. Anschließend wird die erste Lackmaske 2 entfernt.

Man erkennt, daß in dem Bereich 3 des Siliziumsubstrats 1 die Zwischenräume 5 zwischen den Gräben geringer sind als in dem Bereich 4 des Siliziumsubstrats 1. Dabei könnte beispielsweise der Bereich 3 des Siliziumsubstrats 1 dem Zellenfeld eines Speicherbausteins entsprechen, während der Bereich 4 des Siliziumsubstrats 1 die Struktur des Randbereichs eines Speicherbausteins in diesem Verfahrensstadium widerspiegelt.

Anschließend wird zur Abscheidung von Siliziumdioxid ein sogenanntes HDP-Verfahren (High Density Plasma) durchgeführt. Dazu werden die Prozeßgase Silan (SiH_4 : 60–120 scc), Sauerstoff (O_2 : 150–250 scc) und Argon (Ar: 50–100 scc) zugeführt und durch die Einstrahlung eines elektromagnetischen Feldes ein Plasma über der Substrat-

oberfläche erzeugt. Die eingestrahelte Leistung beträgt dabei zwischen 3000 und 7000 W. Weiterhin wird das Siliziumsubstrat gegenüber dem Plasma auf einem tieferen Potential gehalten. Die Vorspannung des Siliziumsubstrats beträgt beispielsweise zwischen 1000 und 2000 V. Die sich daraus ergebende Struktur ist in Fig. 2 gezeigt.

Ein derartiges HDP-Verfahren weist ein sehr gutes Füllverhalten auf, so daß sogar sehr schmale Gräben ($0,15 \mu\text{m}$) nahezu lunkerfrei aufgefüllt werden können. Außerdem muß das so erzeugte Siliziumdioxid nicht nachträglich verdichtet werden. Die mit einer Verdichtung des Siliziumdioxids verbundenen mechanischen Spannungen in dem Substrat können somit vermieden werden.

Durch den Sputteranteil des HDP-Verfahrens stellt sich an den freien Flanken des abgeschiedenen Siliziumdioxids 8, 9 auf den Zwischenräumen 5 zwischen den Gräben ein Winkel von 45° bis 60° ein. Dieser Effekt führt in Abhängigkeit von der lateralen Ausdehnung des Zwischenraums 5, auf den das Siliziumdioxid abgeschieden wird, zu unterschiedlichen Abscheidedicken. Man erkennt, daß die Abscheidedicke im Bereich 3 des Siliziumsubstrats 1 deutlich geringer ist als in dem Bereich 4 des Siliziumsubstrats 1. Diese Topologieunterschiede sind so groß, daß ein einfacher CMP-Prozeß (chemisch-mechanisches Polieren) in der Regel nicht ausreicht, die Topologieunterschiede zu entfernen, ohne daß es zu einer Schädigung des Siliziumsubstrats 1 im Bereich 3 kommt.

Daher ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren eine zweite Lackmaske 10 vorgesehen. Diese zweite Maske 10 ist im wesentlichen dadurch erhältlich, daß in der zweiten Maske 10 an den Stellen Öffnungen 11 vorgesehen sind, an denen die Breite der Öffnungen in der zu der ersten Maske 2 inversen Maske einen vorgegebenen Wert übersteigen. Die zweite Maske 10 unterscheidet sich von der zu der ersten Maske 2 inversen Maske dadurch, daß die zweite Maske 10 nicht über allen Zwischenräumen 5 zwischen den Gräben 6, 7 geöffnet ist sondern nur über den Zwischenräumen 5, die eine vorgegebene Breite übersteigen. Die zweite Maske besitzt daher ihre Öffnungen 11 im wesentlichen an den Stellen, an das HDP-Verfahren eine besonders dicke Siliziumdioxid außerhalb der Gräben 6, 7 erzeugt hat. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind dies die Zwischenräume 5 im Bereich 4 des Siliziumsubstrats 1. Hingegen bleibt der Bereich 3 des Siliziumsubstrats 1 vollständig abgedeckt.

Weiterhin sind in der zweiten Maske 10 zusätzlich Öffnungen 12 vorgesehen, die den Gräben 7 in dem Siliziumsubstrat 1 entsprechen. Somit kann auf eine eigene Maske zur Erzeugung bzw. Freilegung von Justiermarken verzichtet werden.

Anschließend wird eine reaktive Ionenätzung (RIE) zur Rückätzung des abgeschiedenen Siliziumdioxids 9 in dem Bereich 4 des Siliziumsubstrats 1 durchgeführt. Gleichzeitig wird durch die Rückätzung auch ein Teil des Siliziumdioxids aus den Gräben 7 entfernt, so daß die Gräben 7 als Justiermarken dienen können (Fig. 3).

Es folgt eine Veraschung der zweiten Lackmaske 10. Durch ein nachfolgendes chemisch mechanisches Polieren wird die gesamte Substratoberfläche einheitlich planarisiert. Die sich daraus ergebende Struktur ist Fig. 4 gezeigt.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung zur Justierung der zweiten Maske. In dem Siliziumsubstrat 1 sind zwei Gräben 6 angeordnet, die durch einen Zwischenraum 5 getrennt sind. Die Gräben 6 sind mit Siliziumdioxid 15 aufgefüllt und über dem Zwischenraum 5 ist eine Siliziumdioxidabscheidung 9 angeordnet. Das Siliziumdioxid wurde durch ein HDP-Verfahren erzeugt.

Darüber wurde die zweite Lackmaske 10 aufgebracht. Die zweite Maske 10 unterscheidet sich von der zu der er-

sten Maske inverse Maske dadurch, daß die zweite Maske **10** nicht über allen Zwischenräumen zwischen den Gräben geöffnet ist sondern nur über den Zwischenräumen, die eine vorgegebene Breite übersteigen. Der in **Fig. 5** gezeigte Zwischenraum **5** besitzt eine ausreichende Breite, so daß die zweite Maske **10** eine entsprechende Öffnung **11** aufweist.

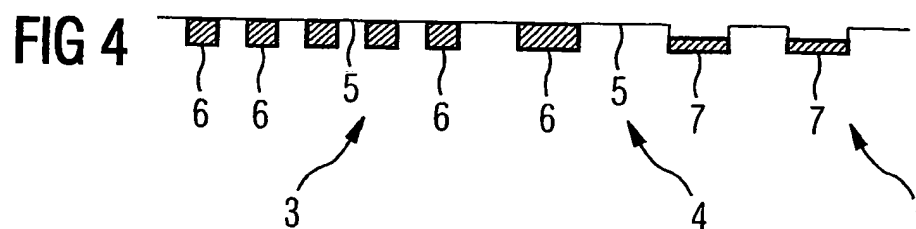
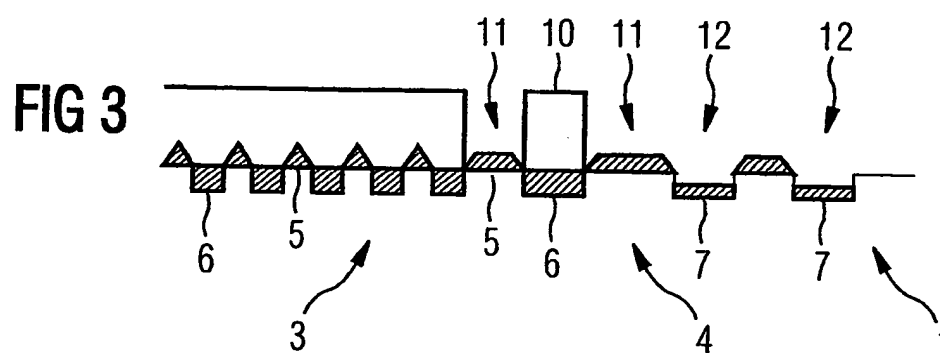
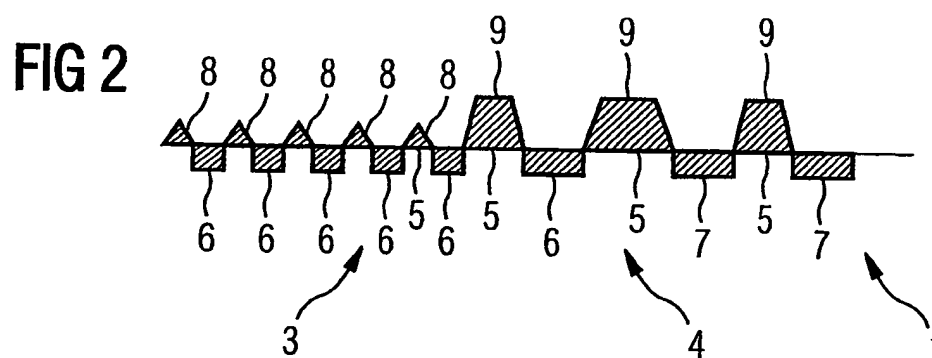
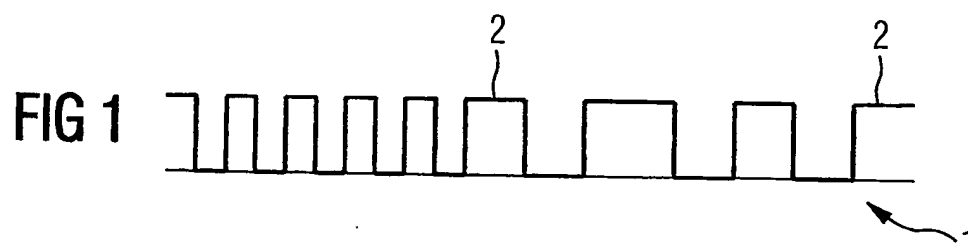
Die Breite der Öffnung **11** entspricht jedoch nicht der gesamten Breite des Zwischenraums **5**, wie dies bei der zu der ersten Maske **2** inversen Maske der Fall wäre. Vielmehr ist die Öffnung **11** in der zweiten Maske **10** gegenüber der Öffnung in der zu der ersten Maske inversen Maske um einen vorgegebenen Vorhalt **14** pro Kante verkleinert. Dadurch ist gewährleistet, daß die zweite Maske **10** auch bei Justierungsschwankungen nur über dem Zwischenraum **5** geöffnet ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Isolationen in einem Substrat mit den Schritten:
 - a) auf das Substrat (**1**) wird eine erste Maske (**2**) aufgebracht;
 - b) unter Verwendung der ersten Maske (**2**) werden in dem Substrat (**1**) Gräben (**6, 7**) erzeugt und nachfolgend wird die erste Maske (**2**) entfernt;
 - c) die Gräben (**6, 7**) werden durch ein plasma-unterstütztes Abscheideverfahren aufgefüllt, wobei das Substrat (**1**) gegenüber dem Plasma auf einem tieferen Potential gehalten wird,
 - d) eine zweite Maske (**10**) wird aufgebracht, welche im wesentlichen dadurch erhaltlich ist, daß in der zweiten Maske (**10**) an den Stellen Öffnungen (**11**) vorgesehen sind, an denen die Breite der Öffnungen in der zu der ersten Maske inversen Maske einen vorgegebenen Wert übersteigen,
 - e) unter Verwendung der zweiten Maske (**10**) wird eine Rückätzung durchgeführt und nachfolgend die zweite Maske (**10**) entfernt, und
 - f) die daraus resultierende Oberfläche wird zur Planarisierung poliert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen (**11**) in der zweiten Maske (**10**) gegenüber den Öffnungen in der zu der ersten Maske (**2**) inversen Maske um einen vorgegebenen Vorhalt (**14**) pro Kante verkleinert sind.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß in der zweiten Maske (**10**) zusätzlich Öffnungen (**12**) vorgesehen sind, die Justiermarken (**7**) in dem Substrat (**1**) entsprechen.
4. Verfahren nach einem der vorherstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Füllmaterial Siliziumdioxid verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der vorherstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Gräben (**6, 7**) durch ein plasma-unterstütztes Abscheideverfahren mit einem Plasma von hoher Dichte (HDP) aufgefüllt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Prozeßgase für das plasma-unterstützte Abscheideverfahren Silan (SiH_4), Sauerstoff (O_2) und Argon verwendet werden.
7. Verfahren nach einem der vorherstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Rückätzung eine reaktive Ionenätzung (RIE) durchgeführt wird.
8. Verfahren nach einem der vorherstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und die zweite Maske Lackmasken sind, die durch Lackveraschung wieder entfernt werden.

9. Verfahren nach einem der vorherstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die aus Schritt e) resultierende Oberfläche durch chemisch-mechanisches Polieren planarisiert wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



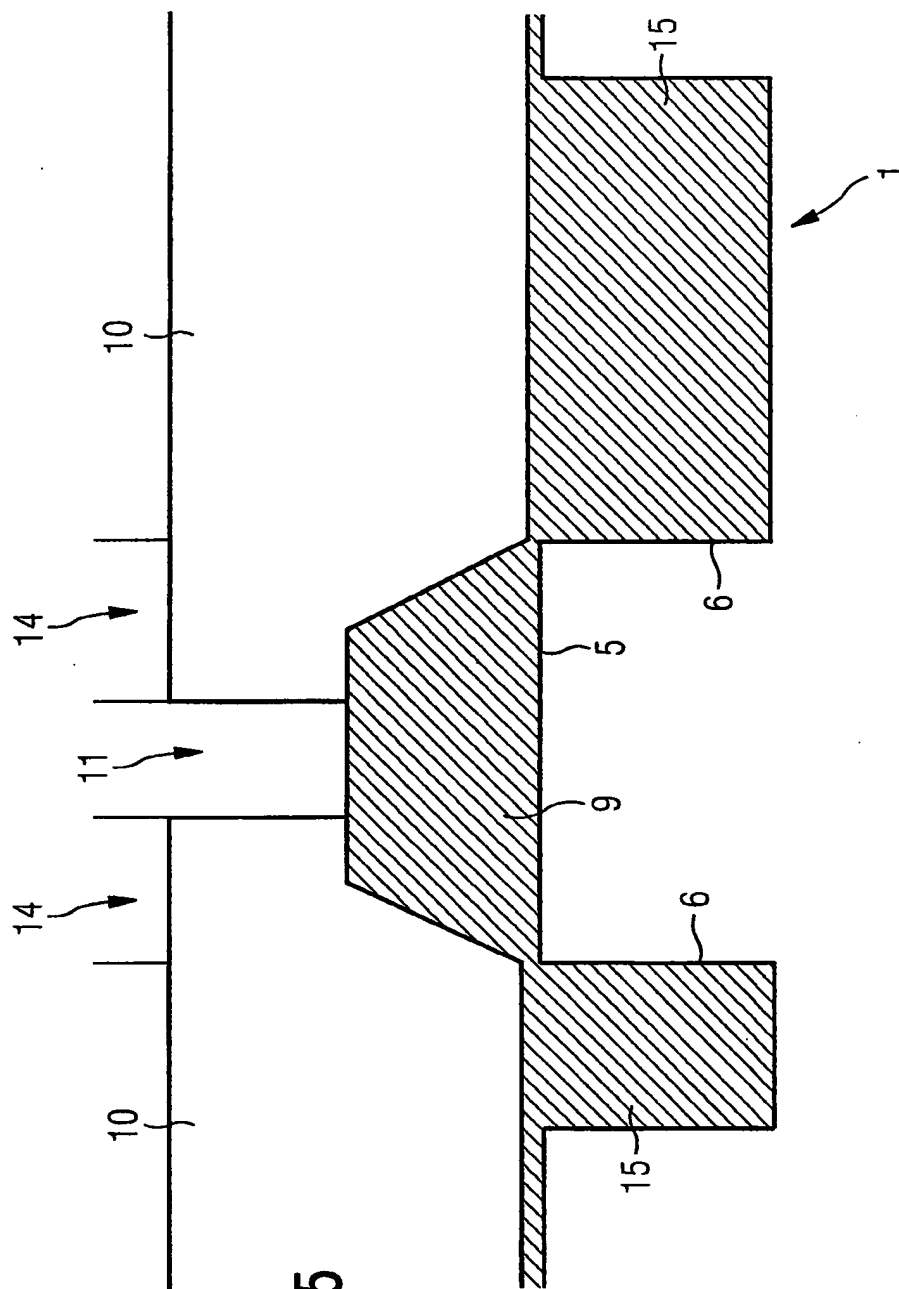


FIG 5